

УДК 666.65

Е.В. ХРИСТИЧ, Г.Н. ШАБАНОВА, С.М. ЛОГВИНКОВ, Т.В. ШКОЛЬНИКОВА, В.В. ДЕЙНЕКА**БАРИЙСОДЕРЖАЩАЯ КЕРАМИКА С НЕЛИНЕЙНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Приведены результаты исследования барийсодержащей керамики с нелинейными характеристиками на основе композиций системы BaO – SrO – TiO₂. Определены параметры устойчивого синтеза и уточнена технология получения подобных материалов заданного состава, выбраны допирующие добавки, исследована микроструктура образцов. Разработаны составы барийстронцийциркониевых титанатов с сегнетоэлектрическими свойствами: большой диэлектрической проницаемостью, высоким значением пробивного напряжения и существенной нелинейностью вольт-амперных характеристик. Рассмотрена возможность получения композитных слоистых изделий, а также тонкопленочная технология напыления аэрозолей порошков сегнетокерамики на основе полученных материалов.

Ключевые слова: технология сегнетокерамики, устойчивый синтез, добавки, диэлектрическая проницаемость, нелинейность свойств, композитные материалы.

Наведені результати дослідження барійсодержащої кераміки з нелінійними характеристиками на основі композицій системи BaO – SrO – TiO₂. Визначено параметри сталого синтезу і уточнена технологія отримання подібних матеріалів заданого складу, обрані допіру добавки, досліджена микроструктура зразків. Розроблено склади барійстронційцирконієвих титанатів з сегнетоелектричними властивостями: великий діелектричної проникністю, високим значенням пробивної напруги і істотною нелінійністю вольт-амперних характеристик. Розглянуто можливість отримання композитних шаруватих виробів, а також тонкоплівкова технологія наплення аерозолів порошків сегнетокераміки на основі отриманих матеріалів.

Ключові слова: технологія сегнетокераміки, стійкий синтез, добавки, діелектрична проникність, нелінійність властивостей, композитні матеріали.

The results of the study barium-containing ceramics with non-linear characteristics based system tracks BaO – SrO – TiO₂. The parameters of a sustainable synthesis and refined technology for producing such materials specified composition, doping selected additives to study the microstructure of the samples. Compositions bariystronciysirkonievih materials with ferroelectric properties. Physical, mechanical and technical characteristics of new developed materials have been ascertained. Materials of (Ba_{0.75}Sr_{0.25})(Ti_{0.95}Zr_{0.05})O₃ composition are characterized with high performance properties: relative dielectric permittivity in the fields $E = 10^3 \div 5 \cdot 10^3$ V/m at temperatures close to T_K is equal $\epsilon_r = 4 \cdot 10^3 \div 1.2 \cdot 10^4$; the loss tangent of dielectric $\tan \delta \cdot 10^3$ no more than 30; compressive bending limit - 100 MPa; apparent density $\rho_k = 5100$ kg/m³, volume resistivity (ρ_v) $(0.4-1.2) \cdot 10^6$ Ом·см (при 20 °C). A model for the production of cell - forming line electromagnet waves of high intensity and carried out research and experimental testing of products developed segnetokeramicheskogo material used as the working fluid of high- forming devices. The possibility of producing composite laminates, as well as thin-film deposition technology of ferroelectric powder aerosols based on the submissions received.

Keywords: technology segnetoceramic, stable synthesis, additives, dielectric permittivity, properties non-linearity, composite materials.

Введение. Возрастание требований к элементам современной микроэлектроники обуславливает перспективность разработки новых керамических сегнетоэлектрических материалов с заданным комплексом свойств. Получение данных материалов возможно на основе всестороннего изучения процессов в системе BaO – SrO – TiO₂, разработки технологии получения сегнетокерамических материалов нового типа. Данные материалы могут конкурировать с ферритными аналогами – рабочее тело в формирующих э/м сигналы устройствах, а также перспективным является использование сегнетоэлементов в счетновычислительной технике в качестве ячеек памяти для создания микропроцессоров. Монокристаллы сегнето- и антисегнетоэлектриков перспективны для модуляции и преобразования лазерного излучения и т.д. Кроме этого совершенствование технологии изготовления делает возможным продвижение материалов, обладающих сегнетоэлектрическими свойствами в сильноточную электронику для создания мощных генераторов электрических и магнитных полей [1-3].

Одним из методов получения сегнетоэлектрических материалов, обладающих требуемыми свойствами в заданном температурном интервале, является технология высокотемпературного синтеза твердых растворов титанатов бария и стронция. Изменением

концентрации компонентов и введением добавок в твердый раствор можно регулировать значения диэлектрической проницаемости, смещать температуру фазового перехода (температуру Кюри), изменять нелинейность поляризации и т. д.

Цель работы. Целью данной работы является исследование условий получения сегнетокерамических материалов с нелинейными характеристиками на основе композиций системы BaO – SrO – TiO₂ с различными допирующими добавками.

Основная часть. В ходе ранее выполненной работы рассчитаны термодинамические константы бинарных соединений исследуемой системы, отсутствующие в справочной литературе. Исследовано субсолидусное строение трехкомпонентной системы BaO – SrO – TiO₂, выполнено ее полное разбиение на элементарные треугольники и установлены все стабильные комбинации соединений прогнозирующих гетерофазный состав материалов, а также дана геометро-топологическая характеристика входящих в нее фаз. Установлено, что данная система разбивается на 11 элементарных треугольников, значительно отличающихся друг от друга по геометро-топологическим показателям [4].

Установлены [5] особенности протекания процессов фазообразования в сырьевой смеси,

© Е.В. Христич, Г.Н. Шабанова, С.М. Логвинков, Т.В. Школьникова, В.В. Дейнека, 2016

состоящей из углекислых бария, стронция и оксида титана. Установлено, что твердофазные реакции начинают протекать с заметной скоростью уже при температуре 900 °С и полностью завершаются при температуре 1300 °С с изотермической выдержкой 2 часа. Рассчитана константа скорости суммарного процесса фазообразования.

Комплекс проведенных исследований позволил выбрать, оптимальную область системы, модифицирующие добавки, параметры синтеза сегнетокерамических материалов на основе композиций барийстронциевых титанатов, рассматриваемой системы [9].

При исследовании параметров синтеза материалов использовали следующие сырьевые материалы: технический углекислый барий, углекислый стронций, диоксид титана и моноклинный диоксид циркония, которые тщательно смешивались в шаровой фарфоровой мельнице в виде шлама с влажностью 35 % (тонина помола характеризовалась полным проходом через сито № 004), из высушенного до 5 % влажности шлама формовались брикеты и обжигались при температурах 1300–1350 °С (изотермическая выдержка при максимальной температуре составляла 2 часа). Синтезированную смесь размалывали (дисперсность порошков контролировали остатком 0,1–0,5 мас. % на сите № 004), прессовали изделия с необходимыми габаритами и формами (диски, кубики, призмы цилиндры, пластины сложной формы) и спекали при температуре 1370 °С в нейтральной среде при

скорости подъема температуры 6 °С/мин, изотермическая выдержка при максимальной температуре – 2 часа. Полнота синтеза материала контролировалась рентгенографическим методом анализа на дифрактометре ДРОН-3м ($Co_{k\alpha}$ излучение, Fe – фильтр).

Структура полученных материалов оптимальных составов исследовалась с применением растрового электронного микроскопа РЕММ – 102. Кристаллы со структурой перовскита (простейшая кристаллическая структура с сегнетоэлектрическими свойствами) хорошо идентифицируются в микроструктуре материала. Наблюдается высокий уровень завершенности развития зерен и межкристаллических границ в виде непрерывных тонких слоев аморфизованных фаз того же состава, что и кристаллы. В это же время, зерна не имеют полного ограничения идеальных бездефектных тетрагональных кристаллов, т.к. являются твердыми растворами титанатов бария и стронция с высокой степенью структурного упорядочения. Структура плотная, редко наблюдаются отдельные изолированные поры до 1,5 – 2 мкм.

По результатам экспериментальных исследований влияния вида и количества модифицирующих добавок на нелинейные свойства материалов были выбраны несколько рациональных вариантов, составы и свойства которых представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Составы и свойства образцов сегнетокерамики

№ п/п	Состав материала	ϵ_{max}	K	T_b , °С	$D_{ост}$, Кл/м ²	$E_{кл}$, В/м
1	Ba _{0,7} Sr _{0,3} TiO ₃	4600	2	40	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^5$
2	(Ba _{0,75} Sr _{0,25})(Ti _{0,95} Zr _{0,05})O ₃	12000	3,1	50	$2 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^5$
3	Ba _{0,88} Sr _{0,12} TiO ₃	9200	2,5	45	$1 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^5$

Свойства (табл. 1) определялись на цилиндрических образцах (размеры образцов: d = 25–30 мм, высота h = 3–5 мм): дифференциальная диэлектрическая проницаемость (ϵ_{max}), остаточная индукция электрического поля ($D_{ост}$, Кл/м²), коэффициент нелинейности дифференциальной диэлектрической проницаемости K , напряженность коэрцитивного поля ($E_{кл}$, В/м) и температура Кюри (T_k).

Для исследования свойств образцов сегнетоэлектриков при действии на них переменного напряжения промышленной частоты был создан экспериментальный стенд, основанный на использовании метода Соьера – Тауэра. Стенд апробирован для исследования образцов сегнетокерамики на основе твердых растворов бария и стронция при различных напряженностях электрического поля и температурах [6–7]. При этих испытаниях исследуемые образцы сегнетокерамики помещались в термокамеру, в которой поддерживалась заданная температура (25 – 80 °С).

Изготовление сложнопрофильных элементов высоковольтной формирующей линии из разработанных сегнетокерамических материалов изученной системы, осуществлялось за счет следующих технологических операций: синтез исходных компонентов, диспергация, шихтовка, прессование, спекание, механическая обработка, нанесение электродов. Использовались те же сырьевые материалы, что и для изготовления экспериментальных образцов. Помол производился в шаровой мельнице в виде шлама (влажность 35 %), тонина помола – полный проход через сито № 004. Сушка смеси до влажности 1–2 % при температуре 100 – 110 °С. Прессование брикетов на гидравлическом прессе П-125 (давление прессования 50 МПа). Обжиг осуществлялся в силитовой печи (температура 1300 – 1350 °С, изотермическая выдержка 2 часа). После обжига брикеты измельчались, дисперсность контролировалась остатком 0,1 – 0,5 % на сите № 004.

При дальнейшем изготовлении деталей формирующей линии был использован метод введения термопластических связок в шихтовку

композицію, суть которого заключается в нанесении тонких слоев органического вещества на частицы порошка в процессе их совместного подогрева до температуры, превышающей температуру плавления органического компонента. Для увеличения степени однородности и гомогенизации порошка осуществлялась протирка пресс-порошка сквозь сито № 063.

В специально спроектированной стальной форме были отпрессованы (при удельном давлении прессования 52 МПа) детали с габаритными размерами – 30×200 мм, толщиной от 2 до 4 мм.

Обжиг деталей проводился в силитовой печи в шамотном капсюле с засыпкой из тонкодисперсного моноклинного ZrO_2 и глинозема по ступенчатому режиму с целью выжигания органического компонента, окончательный обжиг деталей проводился при температуре 1350 °С (выдержка 2 часа). Технологическая схема изготовления деталей элемента высоковольтной формирующей линии приведена на рис. 1.

В дальнейшем изготовленные детали высоковольтной формирующей линии из сегнетокерамического материала на основе барийстронцийциркониевого титаната исследовались

на эксплуатационную пригодность и соответствие свойств, требованиям заказчика.

Разработанный сегнетокерамический материал был апробирован для получения тонкопленочных сегнетоэлектриков по технологии авторов [8], напылением аэрозолей порошков сегнетокерамики в вакууме при комнатной температуре (с толщиной напыленного слоя от 20 мкм до 250 мкм, при времени напыления 10 – 20 минут). В экспериментах использовались порошки сегнетокерамики базового состава различной степени дисперсности (мода диаметра частиц составляла значение в интервале от 40 мкм до 50 мкм), контроль диаметра частиц осуществлялся методами оптической и электронной микроскопии.

Для создания сложных композитных структур, включающих в себя внутренние металлические электроды, сегнетоэлектрические и ферромагнитные элементы, возможно использование данной технологии напыления, открывающей новое направление в области получения наноструктурных композитных материалов для микроэлектроники, оптики, электротехники и, в частности, высоковольтной импульсной техники.

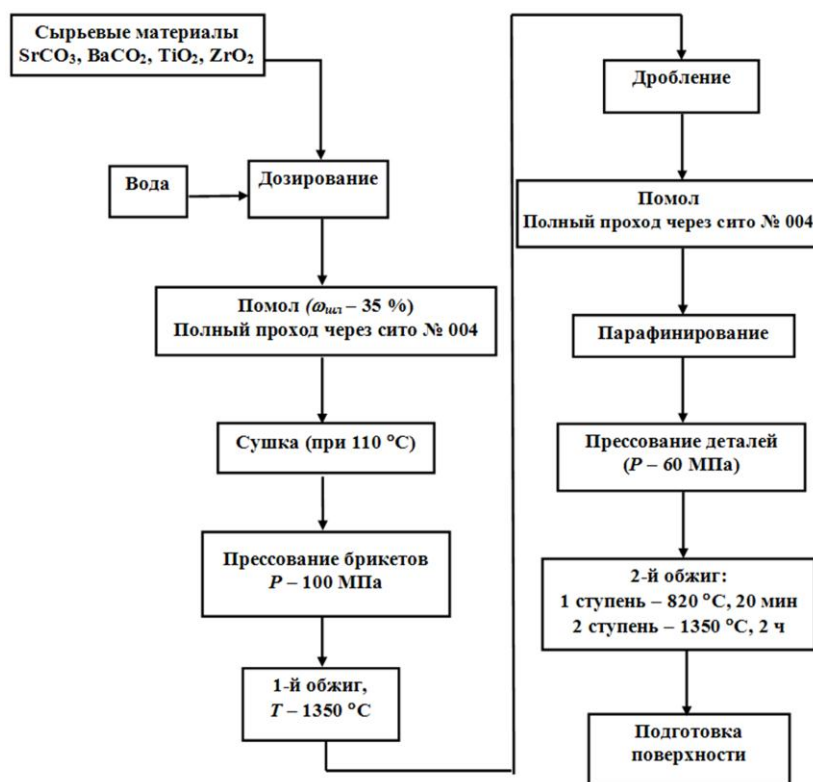


Рис. 1 – Технологическая схема изготовления детали элемента высоковольтной формирующей

Еще одной сферой применения разработанных сегнетокерамических материалов является использование их в формирующих линиях импульсных генераторов, как сегнетомагнитной композитной рабочей среды (так называемые «мультиферроики») [9], материалы, в которых может

быть реализовано взаимодействие электрической и магнитной подсистем. Это дает возможность согласовывать исходное сопротивление импульсных генераторов на ударных электромагнитных волнах с нагрузкой. Изменяя соотношение толщин сегнетоэлектрических и ферромагнитных слоев

композита, можно в широких диапазонах и независимо друг от друга влиять на нелинейность его диэлектрической и магнитной проницаемостей. В этом направлении была апробирована технология экспериментального мультиферроика – слоистого сегнетомагнитного композита с чередующимися сегнетоэлектрическими и ферромагнитными слоями в виде таблеток и плоских колец толщиной до 2 мм, диаметром 9,5 мм и площадью нанесенных на их поверхность серебряных электродов до 50 мм² (рис. 2).

Ферромагнитные слои композита образованы смесями ферритов и карбонильного железа с эмульсионным поливинилхлоридом [10].

Исследования проводились на экспериментальных стендах и в соответствии с методиками, идентичными с описанными для образцов сегнетокерамики, синтезированных по технологии высокотемпературного спекания.



Рис. 2 – Фотография образца слоистого сегнетомагнитного композита

Выводы и направление дальнейших исследований.

Разработаны составы для получения сегнетокерамических материалов системы BaO – SrO – TiO₂, обладающие требуемыми значениями диэлектрической проницаемости, высоким пробивным напряжением и существенной нелинейностью диэлектрической проницаемости в электромагнитных полях высокой напряженности.

Экспериментально определено влияние химического состава, а также вида и количества добавок на структурозависимые свойства синтезированных материалов сегнетокерамики. Изучены их электрофизические свойства в различных режимах и условиях. Выбран вид оптимальной допирующей добавки (ZrO₂) и ее рациональное количество (до 0,05 мол.%).

Разработаны сегнетокерамические материалы состава (Ba_{0,75}Sr_{0,25}Ti_{0,95}Zr_{0,05})O₃ с высокими значениями эксплуатационных характеристик: максимальная диэлектрическая проницаемость при температуре 40 °С - 12000, кажущаяся плотность полученных материалов (ρ_k) = 5100 кг/м³; открытая пористость (P_k) < 1 %; предел прочности при изгибе (σ_n) около 100 МПа; электрическая прочность

($E_{пр}$) 2,5 кВ/мм, при частоте 50 Гц; удельное объемное сопротивление (ρ_v) (0,4-1,2) · 10⁶ Ом·см, при 20 °С.

Изготовлена партия сложнопрофильных изделий из разработанных сегнетокерамических материалов и определены эксплуатационные характеристики изготовленных элементов высоковольтной формирующей линии состава (Ba_{0,75}Sr_{0,25}(Ti_{0,95}Zr_{0,05})O₃): максимальная диэлектрическая проницаемость при температуре 40 °С - 12000, электрическая прочность образцов при воздействии испытательных импульсов длительностью 10 мкс - 80 МВ/м.

Апробированы перспективные варианты технологии получения мультиферроика из разработанных сегнетокерамических материалов, а также тонкопленочная технология напыления аэрозолей порошков сегнетокерамики на медь в вакууме при комнатной температуре.

Список литературы:

1. Масленникова Г.Н. Технология электрокерамики / Масленникова Г.Н., Харитонов Ф.Я., Костюков Н.С., Пирогов К.С. – М.: Энергия, 1994. – 224 с.
2. Месяц Г. А. Генерирование мощных наносекундных импульсов / Месяц Г. А. – М.: Сов. радио, 1974. – 256 с.
3. Seddon N., Thornton E. A high-voltage, short-risetime pulse generator based on a ferrite pulse sharpener // Rev. Sci. Instrum. – 1988, vol.59, No. 11. – pp. 2497-2498.
4. Христич Е.В. Субсолидусное строение системы BaO – SrO – TiO₂ / Христич Е.В., Логвинков С.М., Шабанова Г.Н., Васютин Ф.А. // Вопросы химии и химической технологи. – 2010. – № 2. – С. 126 – 128.
5. Шабанова Г.Н. Термодинамический анализ обратимости взаимных твердофазных реакций системы BaO – SrO – TiO₂ / Г.Н. Шабанова, С.М. Логвинков, Е.В. Христич [и др.] // Вісник НТУ «ХПІ». – 2008. – № 33. – С. 76 – 82.
6. Резинкин О.Л. Методика экспериментального исследования свойств сегнетоэлектриков в импульсных электрических полях / О.Л. Резинкин, В.В. Вытришко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2006. – № 17. – С. 112 – 120.
7. Христич Е.В. Исследование влияния допирующих добавок на диэлектрическую проницаемость сегнетокерамических материалов / Е.В. Христич, С.М. Логвинков, Г.Н. Шабанова // 36. наук. праць ВАТ «УкрНДІВогнетривів ім. А.С. Бережного». – 2010. – № 110. – С. 130 – 136.
8. Akedo J. Room Temperature Impact Consolidation (RTIC) of Fine Ceramic Powder by Aerosol Deposition Method and Applications to Microdevices / J. Akedo // J. Thermal Spray Technology. – 2008. – Vol. 17, I. 2. – pp. 181-198.
9. Белоус А.Г. Мультиферроики: синтез, структура и свойства / А.Г. Белоус, О. И. Вьюнов. // Укр. хим. Журнал. – 2012. – Т. 78, № 7. – С. 3-31.
10. Ферромагнетики на основі барійстронційцирконієвого титанату / О.В. Христич, Г.М. Шабанова, О.Л. Резинкін // Львівські хімічні читання: XV наук. конф., 24-27 трав. 2015 р.: тези доп. – Львів, 2015. – М6.

References (transliterated)

1. Maslennikova G.N. Haritonov F.Ya., Kostyukov N.S., Pirogov K.S. *Tehnologiya elektrokeramiki*. [Technology electroceramics]. Moscow, Energiya, Publ., 1994, 224 p.
2. Mesyats G. A. *Generirovanie moschnykh nanosekundnykh impulsov* [Generation of high-power nanosecond pulses]. Moscow, Sov. radio, Publ., 1974, 256 p.
3. Seddon N., Thornton E. A high-voltage, short-risetime pulse generator based on a ferrite pulse sharpener. *Review of Scientific Instruments*, 1988, vol.59, no. 11, pp. 2497-2498.
4. Hristich E.V., Logvinkov S.M., Shabanova G.N., Vasyutin F.A. *Subsolidusnoe stroenie sistemy BaO – SrO – TiO₂* [Subsolidus

- structure of the system BaO - SrO - TiO₂]. *Voprosy himii i himicheskoy tehnologii*. 2010, no. 2, pp. 126–128.
5. Shabanova G.N., Logvinkov S.M., Hristich E.V., Rezinkin O.Ya, Nagornyy A.O. Termodinamicheskiy analiz obratimosti vzaimnykh tverdogaznykh reaktsiy sistem BaO – SrO – TiO₂ [Thermodynamic analysis of the reversibility of the mutual reactions of solid-phase system BaO - SrO - TiO₂]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2008, no. 33, pp. 76 – 82.
 6. Rezinkin, O.L., Vytrishko V.V. Metodika eksperimentalnogo issledovaniya svoystv segnetoelektrikov v impulsnykh elektricheskikh pol'yakh [Methods of experimental study of the properties of ferroelectrics in pulsed electric fields] *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2006, no. 17, pp. 112–120.
 7. Hristich E.V., Logvinkov S.M., Shabanova G.N., Rezinkin O.L. Issledovanie vliyaniya dopiruyuschih dobavok na dielektricheskuyu pronitsaemost segnetokeramicheskikh materialov [Investigation of the effect of additives on doping permittivity materials segnetokeramic] *Zbornik nauchnykh trudov PAT «UkrNIIOgneuporov im. A.S. Berezhnogo»* [Collection of scientific papers of PJSC «The URIR named after A.S. Berezhnogo»]. Kharkov, PAT «UkrNIIOgneuporov im. A.S. Berezhnogo» Publ., 2010, no. 110, pp. 130–136.
 8. Akedo J. Room Temperature Impact Consolidation (RTIC) of Fine Ceramic Powder by Aerosol Deposition Method and Applications to Microdevices. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2008., vol. 17, I. 2., pp. 181-198.
 9. Belous A.G., Vyunov O. I. Multiferroiki: sintez, struktura i svoystva [Multiferroics : synthesis, structure and properties] *Ukrainskiy himicheskii zhurnal*. 2012, vol. 78, no.7, pp. 3-31.
 10. Hristich O.V., Shabanova G.N., Rezinkin O.L. [Ferromagnetic based bariy strontsiy tsirkoniy titanate] *Lvivski himichni chitannya. Tezy dopovidey XV naukovoї konferentsiyi, (24-27 travnya. 2015 r., Lviv)* [Lviv himic subtraction. Abstracts of the XV Sciences . Conf. (24-27 May 2015, Lviv)]. Lvovskiy natsionalniy institut im. I. Franka Publ., 2015, M6.

Поступила (received) 30.05.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Барийвмісна кераміка с нелінійними характеристиками / О.В. Христич, Г.М. Шабанова, С.М. Логвинков, Т.В. Школьнікова, В.В. Дейнека // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 22 (1194). – С. 221-226. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0821.

Барийсодержащая керамика с нелинейными характеристиками / Е.В. Христич, Г.Н. Шабанова, С.М. Логвинков, Т.В. Школьнікова, В.В. Дейнека // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 22 (1194). – С. 221-226. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0821.

Barium-containing ceramics with non-linear characteristics / Khrystych O. V., Shabanova G. N., Logvinkov S.M., Shkol'nikova T.V., Deyneka V.V. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Chemistry, chemical technology and environment. – Kharkov: NTU "KhPI", 2016. - № 22. – P.221-226. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0821.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Христич Олена Валеріївна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», молодший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: (057) 707-60-51; e-mail: el-green@ukr.net

Христич Елена Валерьевна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», младший научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: (057) 707-60-51; e-mail: el-green@ukr.net

Khrystych Olena – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", junior researcher, Department of ceramics technology officer, refractories, glass and enamels, tel.: (057) 707-60-51; e-mail: el-green@ukr.net

Шабанова Галина Николаевна – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», главный научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: (057) 707-60-51; e-mail: gala-shabanova@ukr.net

Шабанова Галина Миколаївна - доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», головний науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: (057) 707-60-51; e-mail: gala-shabanova@ukr.net

Shabanova Galyna – Doctor of Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Chief researcher, Department of ceramics technology officer, refractories, glass and enamels; tel.: (057) 707-60-51; e-mail: gala-shabanova@ukr.net

Логвинков Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнеця; заведующий кафедры технологии, экологии и безопасности жизнедеятельности, тел.: (057) 758-77-08; e-mail: Sergii.logvinkov@m.hneu.edu.ua

Логвинков Сергій Михайлович - доктор технічних наук, професор, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця; завідувач кафедри технології, екології та безпеки життєдіяльності, тел.: (057) 758-77-08; e-mail: Sergii.logvinkov@m.hneu.edu.ua

Logvinkov Sergei – Doctor of Sciences, Full Professor, Kharkov National University of Economic after named of S. Kuznets, Head at the Department of technology, ecology and life, tel.: (057) 758-77-08; e-mail: Sergii.logvinkov@m.hneu.edu.ua

Школьнікова Татяна Василівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри загальної неорганічної хімії; тел.: (057) 707-68-20; e-mail: itg@ukr.net

Школьнікова Татьяна Васильевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры общей неорганической химии; тел.: (057) 707-68-20; e-mail: itg@ukr.net

Shkolnikova Tatiana – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Docent at the Department of General Inorganic Chemistry, tel.: (057) 707-68-20; e-mail: itg@ukr.net

Дейнека Вікторія Володимирівна – кандидат технічних наук, Національний університет цивільного захисту України, доцент кафедри спеціальної хімії та хімічної технології; тел.: (057) 370-32-93; e-mail: miss.deyneka@mail.ru

Дейнека Виктория Владимировна – кандидат технических наук, Национальный университет гражданской защиты Украины, доцент кафедры специальной химии и химической технологии; тел.: (057) 370-32-93; e-mail: miss.deyneka@mail.ru

Deyneka Viktorija – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National University of Civil Defense of Ukraine, Docent at the Department of special chemistry and chemical technology; tel.: (057) 370-32-93; e-mail: miss.deyneka@mail.ru